

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-110502

(43)Date of publication of application : 12.04.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/22

(21)Application number : 2000-292827

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 26.09.2000

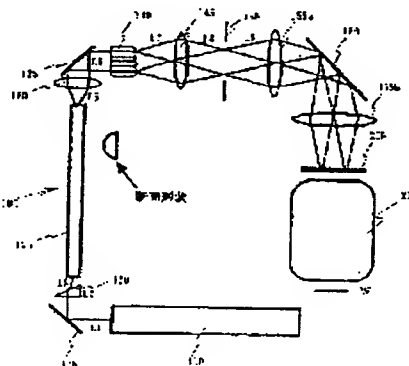
(72)Inventor : MORI KENICHIRO

## (54) LIGHTING DEVICE AND ALIGNER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a lighting device using a traditional zonal ray lighting which illuminates a rectangle range to be illuminated as a mask plane evenly and effectively, that is, in the desired illuminance.

**SOLUTION:** This lighting device that illuminates a plane to be illuminated whose aspect ratio is not equal to 1 using luminous fluxes emitted from a light source is provided with a light integrator for illuminating the plane to be illuminated evenly that is placed between the light source and the plane to be illuminated, and a first optical rod 1 having an arc in a part of the sectional shape and an aspect ratio of the cross section shape is approximate to that of the range to be illuminated, which is placed between the light source and the light integrator.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the lighting system generally used for exposing processed objects, such as a single crystal substrate for semiconductor wafers, and a glass substrate for liquid crystal displays (LCD), especially about a lighting system and an aligner. this invention is suitable for the lighting system for aligners which exposes the single crystal substrate for semiconductor wafers with step - and - scan projection method for example, in a photolithography process. However, the use of the lighting system of this invention is not limited to an aligner, but can be widely applied to optical instruments, such as photoengraving process, projection inspection, a projector, and a projector.

[0002] Here, "step - and - scan projection method" are the projection exposing method for carrying out step movement and moving the wafer after [ of one shot ] an exposure end to the exposure field of the following shot while they carry out the scan of the wafer continuously to a mask or a reticle (a "mask" shall summarize these with this application unless it refuses still more nearly especially) and expose the pattern of a mask to a wafer.

[0003]

[Description of the Prior Art] The demand to detailed-izing of the semiconductor device carried in electronic equipment from small [ of electronic equipment in recent years ] and the request of thin-shape-izing is still higher. For example, as for line - and - space, a drill and becoming smaller future still are expected in 0.15 micrometers. Line - and - space are scales which say the image with which the width of face of a line and a space was projected on the wafer in the equal state in exposure, and show the resolution of exposure. In exposure, resolution, superposition precision, and three parameters of a throughput are important. The precision at the time of the lower limit and superposition precision which can imprint resolution correctly laying some patterns on top of a processed object, and a throughput are number of sheets processed per unit time.

[0004] The exposing method has two kinds, an actual size replica method and projection, fundamentally. An actual size imprint includes contact printing to which a mask and a processed object are contacted, and the approaching method make it estrange slightly. However, the fragment of a contaminant or silicon is pressed fit and used as a mask, and contact printing brings about breakage of a mask, the blemish of a processed object, and a defect, although high resolution is obtained. Although this problem is improved, when the interval of a mask and a processed object becomes small rather than the upper limit of a contaminant particle, breakage of a mask may produce the approaching method similarly.

[0005] Then, the projection which makes the distance of a mask and a processed object estrange further is proposed. In order to improve resolution also in projection, every [ of a mask / a part ] is exposed for expansion of an exposure field, and the scanning exposure method which carries out the sweep (scan) of the wafer continuously or intermittently is learned. Especially the aligner that adopts this method may be called a scanned type projection aligner.

[0006] A projection aligner has the projection optical system generally arranged between the lighting optical system, masks, and processed objects which illuminate a mask. In lighting optical system, in order to obtain a uniform lighting field, the flux of light from the light source is introduced into light integrators, such as an eye lens of the fly which consists of two or more rod

lenses, and Koehler illumination of the mask side is carried out by the condenser lens by making a light integrator injection side into a secondary surface of light source.

[0007] The resolution  $R$  of a projection aligner is given by the following formula using the wavelength  $\lambda$  of the exposure light source, and the numerical aperture (NA) of an aligner.

[0008]

[Equation 1]

$$R = k_1 \times \frac{\lambda}{NA}$$

[0009] Therefore, resolution becomes better, so that wavelength is shortened, and as NA is raised. In recent years, it tends to be set the ArF excimer laser (wavelength of about 193nm) by the wavelength of the exposure light source from the KrF excimer laser (wavelength of about 248nm), and numerical aperture tends to be set to about 0.75 from about 0.6.

[0010] The focal range which can, on the other hand, maintain a fixed image formation performance is called depth of focus, and the depth of focus DOF is given by the following formula.

[0011]

[Equation 2]

$$DOF = k_2 \times \frac{\lambda}{NA^2}$$

[0012] Therefore, so that wavelength is shortened, and as NA is raised, the depth of focus becomes smaller. Since it will be required that focal doubling should become difficult and should raise the flatness (flatness) and a focal precision of a substrate if it becomes small, the fundamentally larger one of the depth of focus is desirable.

[0013] There is a problem that it is unrealizable since the bur and the depth of focus which shortened wavelength and raised numerical aperture from both formulas for much more detailed-izing become small. Then, the super resolution technology (RET:Resolution Enhanced Technology) of attaining detailed-ization is proposed by making the value of a proportionality constant  $k_1$  small in recent years. There are some which are called deformation illumination (or:oblique incidence illumination) to one of the RET. The method of arranging the aperture diaphragm which has a gobo on the optical axis of optical system near the outgoing radiation side of a light integrator as deformation illumination, and making the incidence of the exposure flux of light carry out aslant to a mask is common. the configuration of an aperture diaphragm -- zona-orbicularis lighting -- there is four-fold lighting etc. very much For example, JP,5-21312,A is indicating the exposure method which uses the aperture diaphragm for zona-orbicularis lighting. According to the method of this official report,  $k_1$  which is usually 0.5 or more can be made small to about 0.3.

[0014] Furthermore, since a scanned type projection aligner can make small aberration of the projection lens which projects a mask on a substrate, it also has the feature of being desirable. Here, aberration shows the dotage condition in the conjugate point in the image surface at the time of projecting the point in the body side of a lens, and the lens with large aberration does not have resolution compared with a lens with small aberration. The design of a lens becomes difficulty as numerical aperture goes up, and aberration is related to numerical aperture. For example, spherical aberration is proportional to the 3rd order of numerical aperture in a 3rd aberration theory. Therefore, the design of a lens will become very difficult if numerical aperture goes up. Moreover, the field angle (field which can project a projection lens) is also related to aberration in addition to numerical aperture. For example, distortion aberration is proportional to the 3rd order of a field angle in a 3rd aberration theory. Therefore, the design of a lens becomes very difficult even if a field angle becomes large. Therefore, compared with an exposure field, the projection lens of the small scanned type projection aligner of a field angle is easy to design compared with the projection lens of a bundled-up type projection aligner with an equal field angle in an exposure field, and can make aberration small.

[0015]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The pattern imprint to a resist will become inadequate and it will become impossible for uneven lighting to offer a high-definition semiconductor wafer, LCD, the thin film magnetic head, etc. Therefore, generally it is necessary to illuminate lighting fields, such as a rectangle-like mask side, uniformly and effectively (with namely, desired illuminance). Moreover, if it cannot illuminate with a high illuminance, a throughput falls.

[0016] However, in the conventional lighting system which uses zona-orbicularis lighting, the aperture diaphragm for zona-orbicularis lighting is arranged from the request of uniform lighting to the outgoing radiation side of a light integrator. However, only by arranging an aperture diaphragm, since a part of light will be shaded, an illuminance falls and a throughput falls. For example, when it is the aperture diaphragm 2 / for 3 zona-orbicularis lighting whose ratio of 25%, the diameter of outside opening, and the diameter of inside opening is 3:2 in the case where it is the aperture diaphragm 1 / for 2 zona-orbicularis lighting whose ratio of the diameter of outside opening and the diameter of inside opening is 2:1, 44% of light is KERARE \*\*\*\*\* by the aperture diaphragm. Therefore, from the former, KERARE by the aperture diaphragm was reduced, efficiency for light utilization was raised, and some lighting systems which attain a high illuminance have been proposed.

[0017] JP,5-283317,A arranges prism from the eye lens of a fly to a light source side, and the lighting system using the method of reducing KERARE \*\*\*\*\* by the aperture diaphragm is proposed. When the beam of light which carries out incidence to prism can regard it as parallel light, improvement in efficiency for light utilization can be expected by this method. However, the beam of light which carries out incidence to prism, and the angle which an optical axis makes are large, when it cannot be regarded as parallel light, with prism, a beam of light will not be able to be bent in a direction to a request, and efficiency for light utilization will not increase so much. On the other hand, if vibration arises and both position shifts between laser and lighting optical system when it can be regarded as parallel light and the light source is laser, the quantity of light center of gravity of the effective zona-orbicularis-like light source will not shift, the effective light source symmetrical with a shaft does not become, and uniform lighting cannot be realized.

[0018] JP,11-54426,A is teaching inserting the eye lens and internal reflection member of a fly between the light source and prism, in order to prevent the problem by vibration. However, since it becomes impossible for the beam of light which carries out incidence to prism to regard it as parallel light, as mentioned above, efficiency for light utilization will not go up by this method so much.

[0019] The method of gathering efficiency for light utilization using a diffraction optical element has proposed JP,4-225514,A. However, if incidence of the parallel light is not carried out to a diffraction optical element, it will not be able to bend towards a request of a beam of light like the case of the above-mentioned prism, and efficiency for light utilization will not increase so much. Moreover, although diffraction efficiency is determined by the number of stages of an element, it is difficult for a diffraction optical element to obtain 100% of diffraction efficiency by the present processing method. Efficiency for light utilization will not increase so much by this.

[0020]

[Means for Solving the Problem] Then, it sets it as the general purpose of this invention to offer new and useful the lighting system and aligner which solve such a conventional technical problem.

[0021] More specifically, this invention sets it as the instantiation-purpose to offer the lighting system which illuminates lighting fields, such as a rectangle-like mask side, uniformly and effectively (with namely, desired illuminance) in the conventional lighting system which uses zona-orbicularis lighting.

[0022] Moreover, this invention sets it as another instantiation-purpose to offer the aligner which exposes devices, such as a quality semiconductor, LCD and CCD, and the thin film magnetic head, by the desired throughput using the lighting system illuminated with homogeneity and a high illuminance.

[0023] In order to attain the above-mentioned purpose, the lighting system as instantiation-1 mode

of this invention The light integrator for being the lighting system which illuminates the illuminated field whose aspect ratio is not 1 using the flux of light which carried out outgoing radiation from the light source, being arranged between the aforementioned light source and the aforementioned illuminated field, and illuminating the aforementioned illuminated field uniformly, It is arranged between the aforementioned light source and the aforementioned light integrator, and has the 1st optical rod which the aspect ratio of a cross-section configuration approximates with the aspect ratio of the aforementioned lighting field, including radii in a part of cross-section configuration. Since the configuration of the effective light source for illuminating the plane of incidence of a light integrator does not change even if the optical axis of the light source and lighting optical system shifts, since this lighting system uses the 1st circular optical rod, even if the optical axis of the light source and a lighting system shifts, the quantity of light center of gravity of the effective light source does not shift. Moreover, by being made to make the aspect ratio of the cross-section configuration of the 1st optical rod almost equal to the aspect ratio of a light integrator, with a light integrator, KERARE \*\*\*\*\* can be reduced and efficiency for light utilization can be raised. Furthermore, zona-orbicularis lighting which prepared the aperture diaphragm in the latter part of a light integrator with the 1st optical rod can be realized, and it contributes to improvement in resolution.

[0024] The aligner as instantiation-1 mode of this invention has this lighting system and the optical system which projects the pattern formed in the reticle or the mask on a processed object. Since this aligner uses an above-mentioned lighting system, it does the same operation so.

[0025] The device manufacture method as instantiation-1 mode of this invention has the process which carries out projection exposure of the processed object using an above-mentioned aligner, and the process which carries out a predetermined process to the processed object by which projection exposure was carried out [ aforementioned ]. The effect attains to the device itself whose device manufacture methods which do so an operation of an above-mentioned lighting system and the same operation are middle and an end-result object. Moreover, this device contains semiconductor chips, such as LSI and VLSI, CCD and LCD, a magnetic sensor, the thin film magnetic head, etc.

[0026] Other purposes and further features of this invention will be clarified by the desirable example explained with reference to an accompanying drawing below.

[0027]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, with reference to an accompanying drawing, instantiation-the aligner 1 and lighting system 100 of this invention are explained. In addition, in each drawing, the same reference mark expresses the same member. Here, drawing 1 is the outline block diagram of the lighting system 100 which are the instantiation-aligner 1 of this invention, and its part.

[0028] An aligner 1 has a lighting system 100, a mask 200, and a projection optical system 300, as shown in drawing 1 . An aligner 1 is a scanned type projection aligner which exposes the pattern formed in the mask 200 by step - and - scan projection exposure method on Plate W.

[0029] A lighting system 100 illuminates the mask 200 with which the pattern for an imprint was formed. A lighting system 100 has the laser 110 and lighting optical system as the light source, as shown in drawing 1 .

[0030] Laser 110 is the light source which emits light in lighting light, for example, is a KrF excimer laser with a wavelength of about 248nm. Laser 110 may be replaced by the ArF excimer laser with a wavelength of about 193nm. Moreover, generally the extra-high pressure mercury lamp of the output beyond 500W, a xenon lamp, etc. may be used for the light source, for example.

[0031] When laser is used, you may use the flux of light plastic surgery optical system which operates the parallel flux of light from a laser light source orthopedically to the desired shape of beam, and the incoherent-ized optical system which makes a coherent laser beam bunch incoherent. Two or more cylindrical lenses, beam expanders, etc. can be used for flux of light plastic surgery optical system, and it changes the rate of an aspect ratio of the size of the cross-section configuration of a laser beam into a desired value. As [ indicate / by drawing 1 of JP,3-

215930,A / incoherent-ized optical system ] They are at least two flux of lights (for example) at an optical parting plane about incoming beams. So that one flux of light may be re-guided to a parting plane after giving the optical-path-length difference more than the coherence length of a laser beam to the flux of light of another side through an optical member, and it may be piled up with the flux of light of another side and it may be injected, after branching to p-polarized light and s-polarized light The optical system which was carried out and which is equipped with at least one system by return can be used.

[0032] Moreover, a collimator lens may be arranged between the 1st bending lens 115 mentioned later and laser 110, and the laser beam which carries out outgoing radiation so that it may emit and spread from the light source may be changed into parallel light.

[0033] Lighting optical system is optical system which irradiates the flux of light to a mask 200, and has the 1st bending mirror 115, prism 120, the optical rod 125, the 1st condenser lens 130, the 2nd bending mirror 135, the eye lens 140 of a fly, the 2nd condenser lens 145, drawing 150, the image formation optical system 155a and 155b, and the 3rd bending mirror 160.

[0034] The 1st bending mirror 115 is deflected so that it may be parallel to the longitudinal direction (shaft orientations may be called in this specification) of the optical rod 125 which mentions later the flux of light L1 which carried out outgoing radiation from laser 110. In addition, if the outgoing radiation beam of light of laser 110 and the longitudinal direction of the optical rod 125 are arranged in parallel beforehand, the 1st bending mirror 115 can also be omitted. However, with reference to drawing 1, by using the 1st bending mirror 115, the beam of light of laser 110 is deflected and the miniaturization of a lighting system 100 and an aligner 1 can be realized. In addition, the 1st bending mirror 115 shall be deflected at an angle at which the optimal incidence is made to the component located back in the flux of light from laser 110.

[0035] Prism 120 is used in order to carry out incidence with an angle to the shaft orientations of the optical rod 125 which mentions later the flux of light L1 deflected with the 1st bending lens 115. Prism 120 is the polyhedron fabricated with glass etc. Prism 120 may be fabricated from a quartz or fluorite. The prism 120 used for the aligner 1 of this invention is the triangle pole which has a triangle-like cross section. in addition, it will come out, and prism 120 will not be the thing toward which the plane of incidence of the flux of light and the outgoing radiation side of the flux of light which counters it incline relatively and which has limitation in a configuration, if it is [0036] With reference to drawing 2, incidence of the flux of light L1 deflected by the 1st bending mirror 115 is perpendicularly carried out to prism 120. Here, drawing 2 is an easy optical-path view which passes the prism 120 used for the lighting system 100 shown in drawing 1. Outgoing radiation of the flux of light L2 which passes through the inside of prism 120 is carried out from the field where only the angle  $e_2$  inclined to the plane of incidence of prism 120 and which counters. At this time, the flux of light L2 turns into the flux of light L3 in which only the angle  $e_1$  was refracted to the flux of light L2. Here, there is a relation like  $n \sin(e_2) = \sin(e_1 + e_2)$  to the flux of lights L2 and L3, and  $n$  is the absolute refractive index of prism 120. That is, it depends for the angle  $e_1$  of the flux of light L3 over the flux of light L2 on the absolute refractive index  $n$  of prism 120, and the tilt angle  $e_2$  of the field which carries out outgoing radiation. Thereby, to the longitudinal direction of the optical rod 125, only an angle  $e_1$  inclines and the flux of light L3 becomes possible [ carrying out incidence ]. In this example, since incidence of the flux of light L1 was perpendicularly carried out to the plane of incidence of prism 120, it has not produced the angle change by refraction among the flux of lights L1 and L2. However, you may arrange prism 120 so that refraction may arise among the flux of lights L1 and L2. Furthermore, arranging prism 120 on a turret and considering as the composition which can be rotated arbitrarily is also considered. The angle to the shaft orientations of the optical rod 125 of the flux of light L3 which carries out incidence to the optical rod 125 is arbitrarily changeable with this composition. In addition, as for the incident angle  $e_1$  to the optical rod 125, it is desirable to be adjusted according to the outgoing radiation angle of the optical rod 125 required as mentioning later.

[0037] Moreover, it is also possible to replace prism 120 by prism 121 with reference to drawing 3. Here, drawing 3 is drawing having shown another instantiation-gestalt of the prism 120 used for the lighting system 100 shown in drawing 1. Prism 121 is used as a wedge type because a

cross section divides the rectangular square pole aslant, and it rotates upside prism 121a 180 degrees. In prism 121, prism 121a is arranged so that it may be located in a low rank from prism 121b to the travelling direction of a beam of light. Moreover, although it is desirable to be perpendicularly arranged to the flux of light which carries out incidence as for the plane of incidence of the flux of light of prism 121b, this invention is not limited to this. This prism 121 can change arbitrarily into the optical rod 125 the incident angle of the flux of light which carries out incidence by shifting arrangement in the arbitrary positions between the states which showed in (b) from the state shown in (a) of prism 121a to prism 121b.

[0038] Moreover, you may be the composition which adjusts the 1st bending mirror 115 mentioned above, and carries out incidence with an angle to the longitudinal direction of the optical rod 125. In this composition, it is not necessary to arrange prism 120. It is alternative whether the bending mirror 115 is used and incidence is carried out to the optical rod 125 or incidence of the flux of light which adjusted the bending mirror 115 and had an angle to the longitudinal direction of the optical rod 125 is carried out.

[0039] The optical rod 125 is used in order to acquire the flux of light which has uniform angular distribution symmetrical with a shaft in an optical axis in respect of outgoing radiation. First, the general property of the pillar rod 500 as an example of an optical rod is explained with reference to drawing 13. Here, drawing 13 is the optical-path view simplified when putting the parallel light L into the pillar rod 500. Such a pillar rod 500 is already indicated in the patent official report No. 2767235 official report. The pillar rod 500 has the property to make an axial symmetry equalize the angular distribution of a beam of light for the parallel light L to an optical axis in the injection side by skew reflection.

[0040] With reference to drawing 13, a spherical coordinate system is set to (r, theta, phi) to the axial system of coordinates (x, y, z) made into a x axis and the y-axis in the direction which carries out the perpendicular of the shaft of the pillar rod 500 to the z-axis and it. As for the beam of light L (theta=e, phi=0) which carried out incidence to the incidence edge 502 of a rod, only the direction component of phi changes at this time. Change of this phi differs by how the side of the pillar rod 500 is hit. Moreover, since change which is different in a place place will be carried out if a size is in the beam of light which carries out incidence, if it excels in z shaft orientations of a pillar rod enough, phi has various values. The flux of light L becomes flux of light L' which has the z-axis and an angle e in the outgoing radiation edge 504, and has angular distribution symmetrical with a shaft to the z-axis. As shown in drawing 13, an optical distribution in a circle is observed in a screen also at the place distant from this outgoing radiation edge 504.

[0041] Therefore, if the plane of incidence of the eye lens 510 of a fly is illuminated with reference to drawing 14 using the Koehler's illumination by using the outgoing radiation side 504 of this pillar rod 500 as the secondary light source, a zona-orbicularis-like distribution [ effective light source ] can be obtained like the time of having arranged the zona-orbicularis-like aperture diaphragm in the latter part of the eye lens 510 of a fly. Here, drawing 14 is the optical-path view which simplified some optical system which used the pillar rod 500 shown in drawing 13. Moreover, Koehler illumination is lighting which transposes the position distribution of light [ in / the light source / for the angular distribution of the light in the light source ] to the position distribution of a lighting side at the angular distribution of a lighting side. With this application, this relation may be called relation of the Fourier transform. Though the position which carries out incidence to the rod of an incident ray L fluctuates, the angle e in an outgoing radiation side does not change. Therefore, even if the optical axis of lighting optical system and laser shifts in a lighting system, the configuration of the effective light source does not change. Consequently, the pillar rod 500 can offer a lighting system strong against vibration while being able to give uniform lighting to an irradiated plane.

[0042] However, if the pillar rod 500 is used for a lighting system 100, the problem that the heterogeneity and efficiency for light utilization of the effective light source are incompatible will occur. As mentioned above, Koehler illumination is lighting which transposes the position distribution of light [ in / the light source / for the angular distribution of the light in the light source ] to the position distribution of a lighting side at the angular distribution of a lighting side.



With reference to drawing 14, the angular distribution of the light in the plane of incidence 512 of the eye lens 510 of a fly is the distribution of the configuration of the outgoing radiation side 504 of a pillar rod, the shape of i.e., a circle.

[0043] The eye lens 510 of a fly is a kind of the light integrator which changes and carries out outgoing radiation of the angular distribution of an incident light to a position distribution, and plane of incidence 512 and the outgoing radiation side 514 become the relation of the Fourier transform. The eye lens of a fly puts in order two or more lenses (lens element) in another field where a mutual focal position differs from it. Since the angular distribution of the light of the plane of incidence 512 of the eye lens 510 of a fly has become circle-like in the case of optical system like drawing 14 using the pillar rod 500, the position distribution of the light in the outgoing radiation side 514 of each lens element of the eye lens of a fly will have become circle-like. Moreover, it is higher for the use efficiency of lighting light for the cross-section configurations of each lens element which constitutes the eye lens of a fly to be the lighting field of a lighting system and abbreviation similarity, when the lens side of each lens element is the spherical surface. This is because the eye lens and lighting field of a fly are the relation between a pupil and an image (relation of the Fourier transform).

[0044] Since it has the shape of a rectangle [ as / whose lighting field as 200th page of a mask is 26mmx13mm ] in the case of an aligner 1, as for the eye lens of a fly, it is desirable that an aspect ratio is about 2:1. As mentioned above, in the optical system shown in drawing 14, the position distribution of the light in the outgoing radiation side 514 of the eye lens 510 of a fly is a circle-like. Therefore, the optical intensity distribution in the outgoing radiation side 514 of the eye lens 510 of a fly are distributions like drawing 15 or drawing 16. Here, drawing 15 and 16 are the plans of the optical intensity distribution which looked at the outgoing radiation side 514 of the eye lens 510 of a fly from the mask side. In drawing 15, the image of the outgoing radiation side of the pillar rod 500 which forms an effective light source distribution is small to each lens element cross section of the eye lens 510 of a fly, and it cannot be considered that the effective light source is the surface light source. In drawing 16, even if it carries out incidence from the plane of incidence 512 of the eye lens 510 of a fly, outgoing radiation cannot be carried out from the outgoing radiation side 514, but KERARE \*\*\*\* exists by the eye lens 510 of a fly.

[0045] Then, this invention person is designing the configuration of the optical rod 125 so that it is made for the outgoing radiation side of the eye lens 140 of the fly which is shown in drawing 1 and which is mentioned later to serve as the surface light source and the effective light source in which a legal fiction is possible enough, and KERARE \*\*\*\*\* may be reduced and efficiency for light utilization may be raised by the eye lens 140 of a fly.

[0046] The optical rod 125 is an optical element formed of a transparent pillar-shaped member. Generally, a step index type optical fiber may be used as an optical rod. With reference to drawing 4, the optical rod 125 is formed almost equally to the aspect ratio of each lens element from which a cross-section configuration is a semicircle, and the aspect ratio of a cross-section configuration constitutes the eye lens 140 of a fly, as a result the aspect ratio of a lighting field. Here, drawing 4 is the instantiation-cross section of the optical rod 125. However, a part of the cross-section configuration is radii, and the optical rod 125 should have the aspect ratio of a cross-section configuration almost equal just to the aspect ratio of a lighting field. The optical rod 125 can realize zona-orbicularis lighting like the pillar rod 500 shown in drawing 13 with the cross-section configuration equipped with radii. Moreover, the optical rod 125 can obtain desirable efficiency for light utilization with a predetermined aspect ratio. An optical rod may be the configuration (125a) where for example, the cross-section configuration cut the both sides of a circle with reference to drawing 5 and 6, or a configuration (125b) which consists of an intersection of the circle which shifted the center. Here, drawing 5 and 6 are the cross sections about the shaft orientations of another instantiation optical rods 125a and 125b.

[0047] With reference to drawing 9, the flux of light L3 which carries out incidence to the optical rod 125 is refracted at the plane-of-incidence 126 edge, and turns into the flux of light L4 which is the angle  $e_3$  to a rod shaft. Here, drawing 9 is the easy optical-path view of the flux of light which passes the optical rod 125 used for the lighting system 100 shown in drawing 1. The flux of light



L4 is spread toward an outgoing radiation end face, reflecting several times in the interior. At this time, about shaft orientations, a rod is a flat surface and there is no power of 125 optical rod.

Therefore, the flux of light L4 is reflected, with the angle  $e_3$  to the shaft of an optical rod maintained. Moreover, at the outgoing radiation side 127 edge, refraction with the flux of light L4 contrary to plane-of-incidence 126 edge is carried out. That is, the angle to the rod shaft of the flux of light L5 which carried out outgoing radiation from the outgoing radiation side 127 is still  $e_1$ . On the other hand, in the portion which has the curvature of the optical rod 125, as for the optical rod 125, there is power in the direction perpendicular to shaft orientations. Therefore, the angle of a direction perpendicular to optical rod 125 shaft of the flux of light L4 which carried out incidence to the optical rod 125 is not saved. Namely, the flux of light L4 is mixed in the spiral direction. Thereby, the optical rod 125 becomes possible [ acquiring the flux of light which has the angular distribution of the uniform shape of zona orbicularis symmetrical with a shaft in an optical axis ] in respect of [ 127 ] outgoing radiation. moreover, the optical rod 125 -- a cross-section configuration -- a lighting field and a cheek -- since it is considering as the same aspect ratio, there is no KERARE \*\*\*\*\* by the eye lens 140 of a fly

[0048] As for the flux of light L4, it is desirable that total reflection is carried out in the inside of the optical rod 125. This becomes possible by carrying out incidence of the flux of light L3 so that the flux of light L4 may reflect in a rod-side side and an acute angle within the optical rod 125. Moreover, it is also possible to carry out total reflection to the side of the optical rod 125 effectively by forming a reflective film.

[0049] As mentioned above, the optical rod 125 used for the lighting system 100 of this invention can equalize angular distribution to an axial symmetry by skew reflection by making a part of cross-section configuration into radii focusing on an optical axis. Moreover, the optical rod 125 is making it a cross-section configuration which makes the aspect ratio of a cross-section configuration almost equal to the aspect ratio of the cross section of each lens element which constitutes the eye lens 140 of a fly, as a result the aspect ratio of a lighting field, in the eye lens 140 of the fly mentioned later, it can consider that an effective light source distribution is a field configuration, and the flux of light cannot have KERARE.

[0050] Moreover, in the optical rod 125, the edge by the side of the plane of incidence 126 of the flux of light L3 is perpendicularly formed to the rod shaft. However, optical rod 125c which moistens the edge by the side of incidence with drawing 7 of composition of having leaned aslant and having been formed is also considered. When incidence of the flux of light L10 parallel to a rod shaft is carried out to optical rod 125c in this composition with reference to drawing 7, it is made for the flux of light L10 concerned to be refracted at the edge which leaned aslant and was formed (L11). Here, drawing 7 is drawing having shown the easy optical-path view from the flank side of optical rod 125c of instantiation-1 another gestalt used for the lighting system 100 shown in drawing 1. Therefore, the flux of light L11 which carried out incidence to the optical rod has an angle to rod shaft orientations. Above-mentioned composition can acquire the same effect as the optical rod 125 which uses the above-mentioned prism 120 together, without using prism.

[0051] Again with reference to drawing 1, the 1st condenser lens 130 is arranged so that the outgoing radiation side of the optical rod 125 and the plane of incidence of the eye lens 140 of a fly may become the relation of the Fourier transform. The bending mirror 135 deflects the flux of light.

[0052] The eye lens 140 of a fly is a kind of the light integrator which changes and carries out outgoing radiation of the angular distribution of an incident light to a position distribution, and plane of incidence and an outgoing radiation side become a Fourier transform relation optically. However, the integrator with an usable (optical) this invention is not limited to the eye lens of a fly so that it may mention later. As for the eye lens 140 of a fly, although the cross section consists of this examples, combining the rectangular lens element (namely, microlens) 137 in large numbers, this invention does not eliminate the lens element which has the cross-section configuration of cross-section circular, a square, a hexagon, and others.

[0053] The eye lens 140 of a fly has the lens element 137 of a cross-section rectangle the 18 sum totals of six steps of length, and width 3 train, as shown in drawing 8. Here, drawing 8 is the plan

which looked at the effective light source from the outgoing radiation side of the eye lens 140 of the fly used for the lighting system 100 shown in drawing 1. The semicircle of each lens element 137 of the eye lens 140 of the fly shown in drawing 8 is the image of the outgoing radiation side of the optical rod 125. Thus, by making the aspect ratio of each lens element which constitutes the eye lens 140 of a fly which made the aspect ratio of the cross-section configuration of the optical rod 125 correspond to the configuration of an illuminated field resemble, the image of the outgoing radiation side of many optical rods 125 can regard it as the effective light source [ be / no KERARE of light ] near the surface light source, and can illuminate a mask 200 uniformly efficiently.

[0054] The 2nd condenser lens 145 collects as many flux of lights L7 which came out of the eye lens 140 of a fly as possible, extracts them, piles them up in superposition on 150, and carries out Koehler illumination of the drawing 150 (L8). That is, drawing 150 and the outgoing radiation side of the eye lens 140 of a fly are arranged at the relation of the Fourier transform.

[0055] Some optical system shown in drawing 1 may be replaced by the optical system shown in drawing 10. Here, drawing 10 is the outline block diagram of lighting-system 100a of instantiation-1 another mode which are the aligner 1 shown in drawing 1, and its part. The 1st condenser lens 130 of the lighting system 100 whose drawing 10 is a part of aligner 1 of drawing 1, the 2nd bending mirror 135, the eye lens 140 of a fly, and the 2nd condenser lens 145 are replaced by the 1st collimator lens 170, the 2nd bending mirror 175, the 2nd collimator lens 180, and the 2nd optical rod 185.

[0056] The 1st collimator lens 170 changes the flux of light L5 into the abbreviation parallel flux of light L10. The flux of light L10 is deflected by the 2nd bending mirror 175, and carries out incidence to the 2nd collimator lens. The 2nd collimator lens 180 has changed the parallel flux of light L10 into the condensing flux of light L11 which condenses at the plane-of-incidence edge of the 2nd optical rod 185. By this composition, it is in the physical relationship of a body side and the image surface optically about the outgoing radiation side of the optical rod 125 (with the operation gestalt of drawing 10, it is hereafter called the 1st optical rod for convenience.), and the plane of incidence of the 2nd optical rod 185. This relation may be called conjugate relation with this application. In addition, when the 1st optical rod 125 and the 2nd optical rod 185 mentioned later are arranged in series, the 1st collimator lens 170, the 2nd bending mirror 175, and the 2nd collimator lens 180 may be omitted.

[0057] The image formation system which consists of the 1st and 2nd collimator lenses 170 and 180 in this example is constituted so that the outgoing radiation side of the 1st optical rod 125 may be arranged in the focal position of the 1st collimator lens 170 and the plane of incidence of the 2nd optical rod 185 may be arranged in the focal position of the 2nd collimator lens 180, respectively. Thus, by constituting, since the effective diameter a mirror carries out [ an effective diameter ] the need seldom changes even if the position changes, in case the flux of light L10 which passed the 1st collimator lens 170 turns into the parallel flux of light mostly and the 2nd subsequent bending mirror 175 is arranged, the design flexibility of mirror arrangement becomes large.

[0058] The 2nd optical rod 185 makes the uneven illumination distribution uniform in respect of outgoing radiation by plane of incidence. The 2nd optical rod 185 is a rectangle in which a cross-section configuration perpendicular to a rod shaft has the almost same aspect ratio as a lighting field. In addition, if the 2nd optical rod 185 has power in a cross-section configuration perpendicular to a rod shaft, the illuminance in an outgoing radiation side will not become uniform. Therefore, a cross-section configuration perpendicular to the rod shaft of the 2nd optical rod 185 is a polygon formed only in a straight line. Moreover, since it is the same as that of the optical rod 125 mentioned above except for such composition, detailed explanation is omitted.

[0059] Drawing 150 is used in order to restrict the lighting field on a mask 200. Drawing 150 has a rectangular translucent part mostly, when a projection optical system 300 is a lens type projection system. When a projection optical system 300 is an OFUNA type reflective mirror projection system, it has a circular translucent part and the shading section to the field as for which uniform lighting is carried out by the 2nd condenser lens 145. The flux of light which penetrated the

translucent part of drawing 150 is used as a lighting light of a mask 200. The image formation optical system 160 carries out re-image formation of the opening image of drawing 150 on a mask 200 again.

[0060] Image formation optical system has two or more optical system 155a and 155b and the 3rd bending mirror 160 so that it may illustrate. However, if it extracts as a mask 200 and 150 is arranged in parallel, the clinch mirror 160 can be omitted and that of optical system 155a and 155b is good with respect to either, for one thing.

[0061] The pattern is formed on the mask 200 and the diffracted light emitted from the mask 200 forms a pattern image on Plate W through a projection optical system 300. Plates W are processed objects, such as a wafer and a liquid crystal substrate, and the resist is applied. Drawing 150 and a mask 200 are arranged at a conjugate relation. The outgoing radiation side and mask 200 of an eye lens 140 of a fly have the relation of the Fourier transform. Moreover, a mask 200 and Plate W have a conjugate relation.

[0062] In the case of a scanned type projection aligner, the pattern of a mask 200 is imprinted on Plate W by scanning a mask 200 and Plate W. In addition, in the case of a stepper (aligner of a step-and-repeat exposure method), exposure is performed in the state where the relative position of a mask 200 and Plate W was made to fix (quiescence).

[0063] A projection optical system 300 can use the optical system which has the optical system which consists only of two or more lens elements, the optical system which has two or more lens elements and the concave mirror of at least one sheet, two or more lens elements, and diffraction optical elements, such as kino form of at least one sheet. When amendment of chromatic aberration is required, two or more lens elements which consist of glass material from which a distributed value (ABBE value) differs mutually are used, or a diffraction optical element is used.

[0064] The photoresist is applied to Plate W. A photoresist application process includes pretreatment, adhesion improver application processing, photoresist application processing, and prebaking processing. Pretreatment includes washing, dryness, etc. the surface-treatment (namely, hydrophobic-izing by surfactant application) processing for adhesion improver application processing raising the adhesion of a photoresist and a ground -- it is -- organic films, such as HMDS (Hexamethyl-disilazane), -- a coat -- or it steams Although prebaking is a baking (baking) process, it is softer than it after development, and it removes a solvent. A mask 200 and Plate W synchronize at the rate of predetermined, and move to an opposite direction mutually.

[0065] In exposure, the flux of light emitted from laser 110 is deflected by the 1st bending mirror 115. Then, the flux of light changes an angle to a slit 120, and carries out incidence aslant to the optical rod 125. By repeating skew reflection with the optical rod 125, the flux of light obtains uniform angular distribution symmetrical with a shaft to an optical axis in respect of outgoing radiation. This flux of light is formed into abbreviation parallel by the 1st condenser lens 130, is deflected by the bending mirror 135, and is compounded by the plane of incidence of the eye lens 140 of a fly. At this time, the outgoing radiation light from the optical rod 125 may be compounded with the 2nd optical rod 185.

[0066] The flux of light which carried out outgoing radiation of the eye lens 140 of a fly etc. illuminates drawing 150, after passing the 2nd condenser lens 145. The flux of light which passed drawing 150 illuminates the irradiation side of a mask 200, after passing along the image formation optical system 160. The 2nd condenser lens 145 is stopped down from an integrator using the light which carried out outgoing radiation, and illuminates 150 and a mask 200 uniformly by Koehler illumination.

[0067] Since the aligner 1 which uses this lighting system 100 can be illuminated with the uniform effective light source, it can perform the pattern imprint to a resist with high precision, and can offer high-definition devices (a semiconductor device, a LCD element, image pck-up elements (CCD etc.), thin film magnetic head, etc.).

[0068] Next, with reference to drawing 11 and drawing 12, the example of the manufacture method of the device using the above-mentioned aligner 1 is explained. Drawing 11 is a flow chart for explaining manufacture of devices (semiconductor chips, such as IC and LSI, LCD, CCD, etc.). Here, manufacture of a semiconductor chip is explained to an example. The circuit design of a

device is performed at Step 1 (circuit design). The mask in which the designed circuit pattern formed is manufactured at Step 2 (mask manufacture). At Step 3 (wafer manufacture), a wafer is manufactured using material, such as silicon. Step 4 (wafer process) is called last process, and forms an actual circuit on a wafer with lithography technology using a mask and a wafer. Step 5 (assembly) is called back process, is a process semiconductor-chip-ized using the wafer created by Step 4, and includes processes, such as an assembly process (dicing, bonding) and a packaging process (chip enclosure). At Step 6 (inspection), the check test of the semiconductor device created at Step 5 of operation, an endurance test, etc. are inspected. A semiconductor device is completed through such a process and this is shipped (Step 7).

[0069] Drawing 12 is the detailed flow chart of the wafer process of Step 4. The front face of a wafer is oxidized at Step 11 (oxidization). At Step 12 (CVD), an insulator layer is formed on the surface of a wafer. At Step 13 (electrode formation), an electrode is formed by vacuum evaporation etc. on a wafer. Ion is driven into a wafer at Step 14 (ion implantation). A sensitization agent is applied to a wafer at Step 15 (resist processing). At Step 16 (exposure), the circuit pattern of a mask is exposed to a wafer by the aligner 1. The exposed wafer is developed at Step 17 (development). At Step 18 (etching), portions other than the developed resist image are shaved off. The resist which etching ended and became unnecessary is removed at Step 19 (resist exfoliation). A circuit pattern is formed on a wafer by carrying out by repeating these steps multiplex. According to the manufacture method of this example, the high-definition device for which manufacture was difficult can be manufactured conventionally.

[0070] As mentioned above, although the desirable example of this invention was explained, this invention is not limited to these but deformation and change various by within the limits of the summary are possible for it.

[0071]

[Effect of the Invention] the lighting system and aligner of this invention -- getting twisted -- even if the configuration of the effective light source for illuminating the plane of incidence of a light integrator even if the optical axis of the light source and lighting optical system shifts, since the optical rod of the cross-section configuration containing radii is used does not change but the optical axis of the light source and a lighting system shifts, the quantity of light center of gravity of the effective light source does not shift. Consequently, a lighting system can give uniform lighting to an irradiated plane, even if the optical axis of the light source and a lighting system shifts. Therefore, this invention can offer a lighting system strong against vibration.

[0072] Moreover, by being made to make the aspect ratio of the cross-section configuration of an optical rod almost equal to the aspect ratio of an illuminated field, as a result the aspect ratio of the cross-section configuration of a light integrator, with a light integrator, KERARE \*\*\*\*\* can be reduced and efficiency for light utilization can be raised. Consequently, an aligner can maintain a desired throughput.

[0073] Furthermore, zona-orbicularis lighting which prepared the aperture diaphragm in the latter part of a light integrator with the optical rod is realizable. Consequently, an aligner can raise the proportionality constant  $k_1$  in a formula 1, and can realize high resolution.

[0074] Moreover, since this invention does not use a diffraction optical element etc., it can offer a lighting system and an aligner cheap in comparison.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

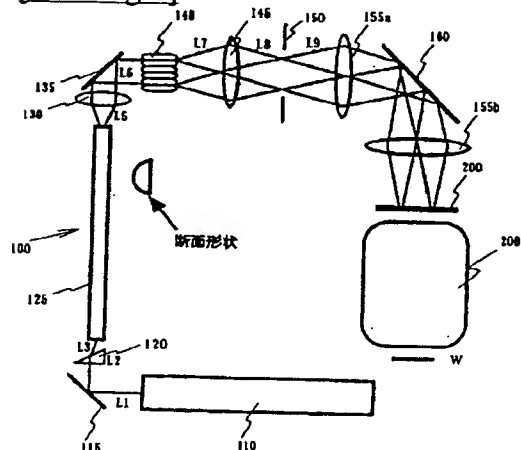
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

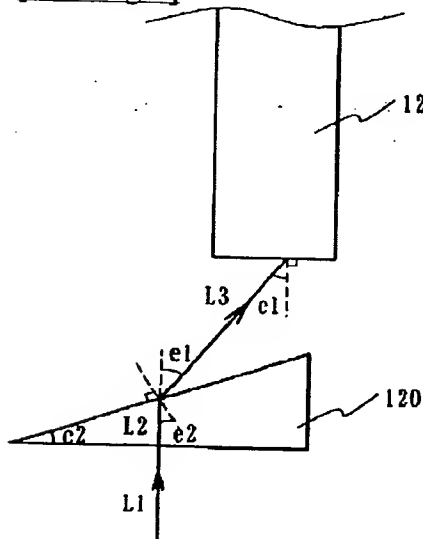
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

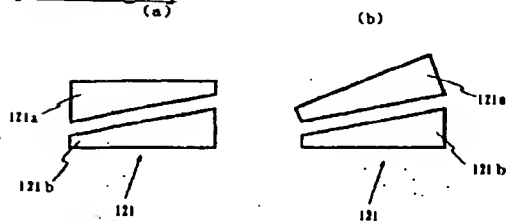
[Drawing 1]



[Drawing 2]



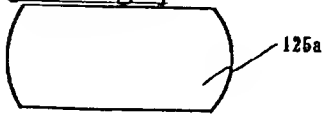
[Drawing 3]



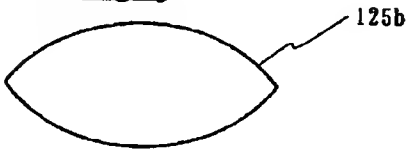
[Drawing 4]



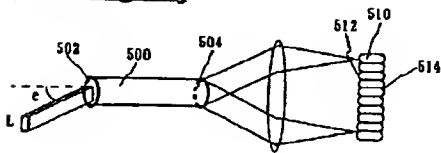
[Drawing 5]



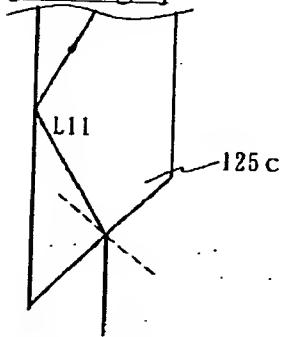
[Drawing 6]



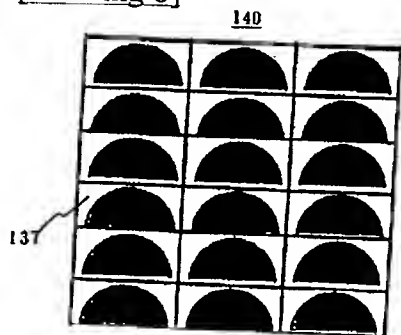
[Drawing 14]



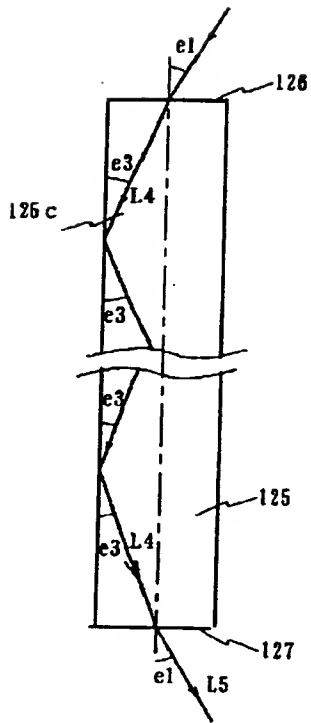
[Drawing 7]



[Drawing 8]

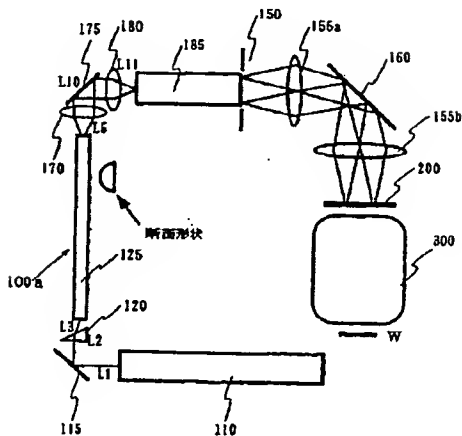


[Drawing 9]

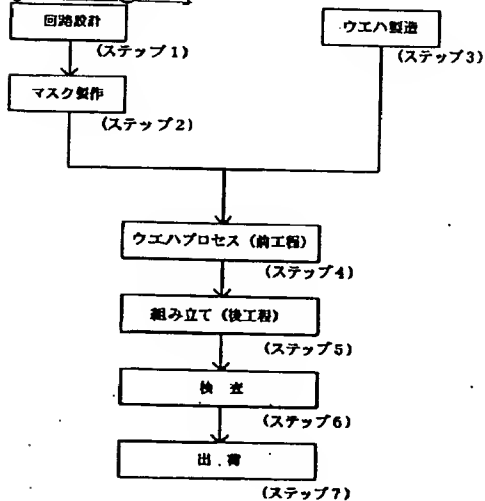


[Drawing 10]

1

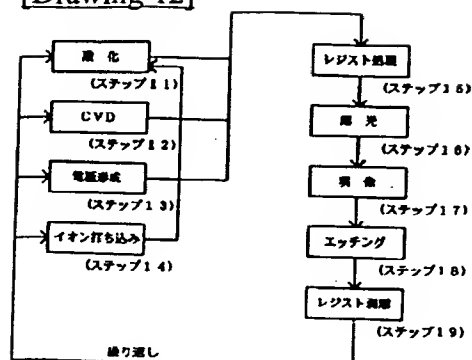


[Drawing 11]

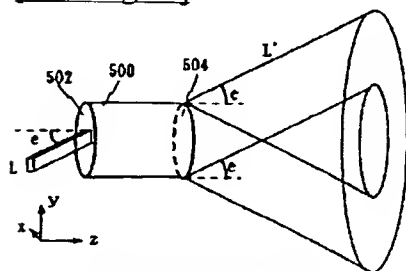




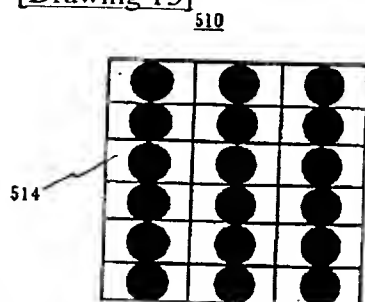
[Drawing 12]



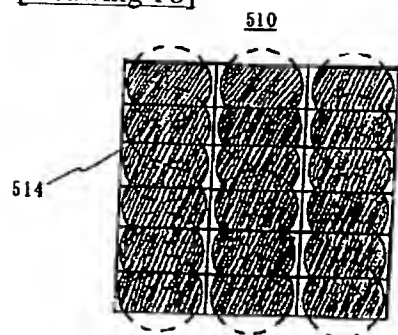
[Drawing 13]



[Drawing 15]



[Drawing 16]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-110502

(P 2 0 0 2 - 1 1 0 5 0 2 A)

(43)公開日 平成14年4月12日(2002.4.12)

(51)Int. Cl. <sup>7</sup>

H01L 21/027

G03F 7/22

識別記号

F I

G03F 7/22

H01L 21/30

テーマコード (参考)

H 5F046

515

D

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全12頁)

(21)出願番号 特願2000-292827(P 2000-292827)

(22)出願日 平成12年9月26日(2000.9.26)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 森 堅一郎

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

(74)代理人 100110412

弁理士 藤元 亮輔

Fターム(参考) 5F046 BA05 CA04 CB10 CB13 CB23

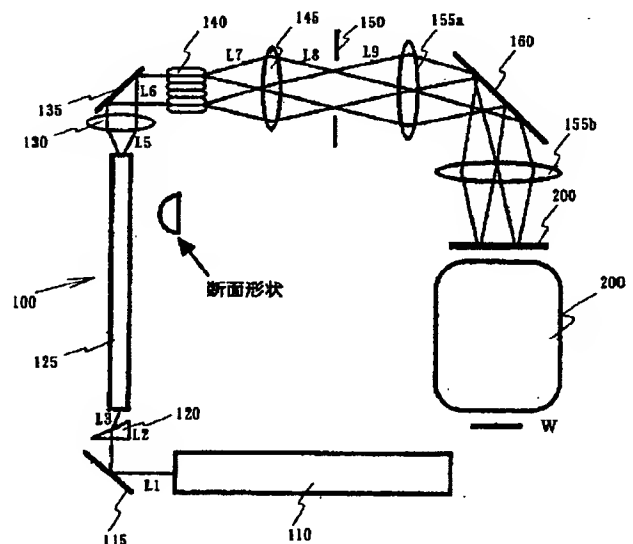
CB27

(54)【発明の名称】照明装置及び露光装置

(57)【要約】

【課題】 本発明は、輪帯照明を使用する従来の照明装置において、矩形状のマスク面等の照明領域を均一かつ効果的に（即ち、所望の照度で）照明する照明装置を提供する。

【解決手段】 光源から出射した光束を用いて縦横比が1でない被照明面を照明する照明装置であって、前記光源と前記被照明面との間に配置され、前記被照明面を均一に照明するためのライトインテグレータと、前記光源と前記ライトインテグレータとの間に配置され、断面形状の一部に円弧を含み、かつ断面形状の縦横比が前記照明領域の縦横比と近似する第1の光学ロッドとを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源から出射した光束を用いて縦横比が 1 でない被照明面を照明する照明装置であって、前記光源と前記被照明面との間に配置され、前記被照明面を均一に照明するためのライトインテグレータと、前記光源と前記ライトインテグレータとの間に配置され、断面形状の一部に円弧を含み、かつ断面形状の縦横比が前記照明領域の縦横比と近似する第 1 の光学ロッドとを有する照明装置。

【請求項 2】 前記第 1 の光学ロッドの前記断面形状が円の一部分を切り落とした形状である請求項 1 記載の照明装置。

【請求項 3】 前記ライトインテグレータは、ハエの目レンズを有する請求項 1 記載の照明装置。

【請求項 4】 前記ライトインテグレータは、各組が直交するように配置された複数のシリンドリカルレンズアレイを有する請求項 1 記載の照明装置。

【請求項 5】 前記第 1 の光学ロッドの出射面と前記ライトインテグレータの入射面は光学的に瞳と像の関係である請求項 1 記載の照明装置。

【請求項 6】 前記照明装置は、断面形状が前記被照明面と略相似である第 2 の光学ロッドを更に有し、前記第 1 の光学ロッドの出射面と前記第 2 の光学ロッドの入射面が光学的に略共役である請求項 1 記載の照明装置。

【請求項 7】 前記光源と前記光学ロッドとの間にプリズムを更に有する請求項 1 記載の照明装置。

【請求項 8】 請求項 1 乃至 7 のうちいずれか一項記載の照明装置と、レチクル又はマスクに形成されたパターンを被処理体に投影する光学系とを有する露光装置。

【請求項 9】 請求項 8 記載の露光装置を用いて被処理体を投影露光する工程と、前記投影露光された被処理体に所定のプロセスを行う工程とを有するデバイス製造方法。

【請求項 10】 請求項 8 記載の露光装置を用いて投影露光された被処理体より製造されるデバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般には、照明装置及び露光装置に関し、特に、半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ (LCD) 用のガラス基板などの被処理体を露光するのに使用される照明装置、及び露光装置に関する。本発明は、例えば、フォトリソグラフィ工程において半導体ウェハ用の単結晶基板をステップ・アンド・スキャン投影方式によって露光する露光装置用の照明装置に好適である。但し、本発明の照明装置の用途は露光装置に限定されず、写真製版、投影検査、映写機、プロジェクタなどの光学機器に広く適用することができる。

【0002】ここで、「ステップ・アンド・スキャン投影方式」は、マスク又はレチクル（なお、特に断らない限り、本出願では「マスク」はこれらを総括するものとする。）に対してウェハを連続的にスキャンさせてマスクのパターンをウェハに露光すると共に、1 ショットの露光終了後ウェハをステップ移動させて、次のショットの露光領域に移動させる投影露光法である。

## 【0003】

【従来の技術】近年の電子機器の小型及び薄型化の要請から、電子機器に搭載される半導体素子の微細化への要求はますます高くなっている。例えば、ライン・アンド・スペースは  $0.15 \mu\text{m}$  をきり、今後益々小さくなることが予想される。ライン・アンド・スペースは露光においてラインとスペースの幅が等しい状態でウェハ上に投影された像をいい、露光の解像度を示す尺度である。露光では、解像度、重ね合わせ精度、スループットの 3 つのパラメータが重要である。解像度は正確に転写できる最小寸法、重ね合わせ精度は被処理体にパターンを幾つか重ね合わせる際の精度、スループットは単位時間当たり処理される枚数である。

【0004】露光法は基本的に等倍転写法と投影法の二種類を有する。等倍転写は、マスクと被処理体を接触させる密着法と僅かに離間させる近接法とを含む。しかし、密着法は高解像度が得られるもののごみやシリコンのかけらがマスクに圧入されてされてマスクの破損や被処理体の傷、欠陥をもたらす。近接法はかかる問題を改善しているがごみ粒子の最大寸法よりもマスクと被処理体の間隔が小さくなると同様にマスクの破損が生じ得る。

【0005】そこで、マスクと被処理体との距離を更に離間させる投影法が提案されている。投影法の中でも解像度を改善するため、そして露光領域の拡大のためにマスクの一部ずつを露光し、ウェハを連続的又は断続的に掃引（スキャン）するスキャン露光方式が知られている。かかる方式を採用する露光装置を特に走査型投影露光装置と称する場合がある。

【0006】投影露光装置は、一般に、マスクを照明する照明光学系とマスクと被処理体との間に配置される投影光学系とを有する。照明光学系においては、均一な照明領域を得るために光源からの光束を複数のロッドレンズから構成されるハエの目レンズなどのライトインテグレータに導入し、ライトインテグレータ射出面を 2 次光源面としてコンデンサーレンズでマスク面をケーラー照明する。

【0007】投影露光装置の解像度  $R$  は、露光光源の波長  $\lambda$  と露光装置の開口数 (NA) を用いて次式で与えられる。

## 【0008】

## 【数 1】

$$R = k_1 \times \frac{\lambda}{NA}$$

【0009】従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、解像度は良くなる。近年では、露光光源の波長はKrFエキシマレーザー（波長約248nm）からArFエキシマレーザー（波長約193nm）に、開口数は約0.6から約0.75になろうとしている。

【0010】一方、一定の結像性能を維持できる焦点範囲を焦点深度といい、焦点深度DOFは次式で与えられる。

【0011】

【数2】

$$DOF = k_2 \times \frac{\lambda}{NA^2}$$

【0012】従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、焦点深度は小さくなる。焦点深度は小さくなるとフォーカス合せが難しくなり、基板のフラットネス（平坦度）やフォーカス精度を上げることが要求されるため、基本的に大きい方が好ましい。

【0013】両式から、より一層の微細化の為に波長を短くして開口数を上げたいが、焦点深度が小さくなるので実現できないという問題がある。そこで、比例定数 $k_1$ の値を小さくすることにより微細化を図る超解像技術（RET: Resolution Enhanced Technology）が近年提案されている。RETの1つに変形照明法（又は斜入射照明法）と呼ばれるものがある。変形照明法としては、光学系の光軸上に遮光板のある開口絞りをライトインテグレータの出射面近傍に配置して、マスクに露光光束を斜めに入射させる方法が一般的である。開口絞りの形状により、輪帯照明、4重極照明などがある。例えば、特開平5-21312号公報は輪帯照明用の開口絞りを使用する露光方法を開示している。同公報の方法によれば、通常は0.5以上である $k_1$ を0.3程度にまで小さくすることができる。

【0014】更に、走査型投影露光装置は、マスクを基板上に投影する投影レンズの収差を小さくすることができるために好ましいという特徴も有する。ここで、収差とは、レンズの物体面にある点を投影した際の、像面における共役な点でのボケ具合を示し、収差が大きいレンズは収差が小さいレンズに比べて解像力がない。レンズの設計は開口数が上がるにつれて困難になり、収差は開口数と関係している。例えば、球面収差は3次収差論において、開口数の3次に比例する。よって、開口数が上がるとレンズの設計が非常に難しくなる。また、開口数

4

以外に画角（投影レンズの投影可能な領域）も収差に関係している。例えば歪曲収差は3次収差論において、画角の3次に比例している。よって、画角が大きくなってもレンズの設計が非常に難しくなる。よって、露光領域に比べて画角の小さい走査型投影露光装置の投影レンズは、露光領域を画角が等しい一括型投影露光装置の投影レンズに比べ、設計が容易で、収差を小さくすることができる。

【0015】

10 【発明が解決しようとする課題】不均一な照明はレジストへのパターン転写が不十分になり高品位な半導体ウェハ、LCD、薄膜磁気ヘッドなどが提供できなくなってしまう。したがって、一般に矩形状のマスク面等の照明領域を均一かつ効果的に（即ち、所望の照度で）照明する必要がある。また、高照度で照明できなければスループットが低下する。

【0016】しかしながら、輪帯照明を使用する従来の照明装置では、均一な照明の要請からライトインテグレータの出射面に輪帯照明用の開口絞りを配置している。しかし、単に開口絞りを配置するだけでは一部の光を遮光することになるため照度が低下してしまいスループットが低下する。例えば、外側開口径と内側開口径の比が2:1である1/2輪帯照明用の開口絞りの場合で25%、外側開口径と内側開口径の比が3:2である2/3輪帯照明用の開口絞りの場合は44%の光が開口絞りによってケラレてしまう。そのため従来から、開口絞りによるケラレを減らして光利用効率を高め、高照度を達成する照明装置がいくつか提案されてきた。

【0017】特開平5-283317号公報は、プリズムをハエの目レンズより光源側に配置し、開口絞りでケラれる光線を減らす方法を用いた照明装置が提案されている。プリズムに入射する光線が平行光と見なせる場合には、この方法で光利用効率の向上を期待することができる。しかし、プリズムに入射する光線と光軸のなす角が大きく、平行光とみなせない場合には、プリズムによって光線を所望に方向に曲げることができず、光利用効率はそれほど上がらなくなってしまう。一方、平行光とみなせる場合でも、光源がレーザーである場合、レーザーと照明光学系の間に振動が生じて、両者の位置がずれると輪帯状の有効光源の光量重心がずれてしまい、軸対称な有効光源とはならず均一な照明が実現できない。

【0018】特開平11-54426号公報は、振動による問題を防止するために、光源とプリズムの間にハエの目レンズや内面反射部材を挿入することを教示している。しかし、この方法では、プリズムに入射する光線が平行光とみなせなくなるので、上述したように光利用効率はさほど上がらなくなってしまう。

【0019】特開平4-225514号公報は、回折光学素子を用いて光利用効率を上げる方法が提案している。しかし、平行光を回折光学素子に入射させなければ

前述のプリズムの場合と同様に光線を所望の方向に曲げることができず、光利用効率はさほど上がらなくなってしまう。また、回折光学素子は素子の段数によって回折効率が決定されるが、現状の加工方法では100パーセントの回折効率を得ることは難しい。このことによって光利用効率がさほど上がらなくなってしまう。

#### 【0020】

【課題を解決するための手段】そこで、このような従来の課題を解決する新規かつ有用な照明装置及び露光装置を提供することを本発明の概括的目的とする。

【0021】より特定的には、本発明は、輪帯照明を使用する従来の照明装置において、矩形状のマスク面等の照明領域を均一かつ効果的に（即ち、所望の照度で）照明する照明装置を提供することを例示的目的とする。

【0022】また、本発明は、均一かつ高照度で照明する照明装置を使用して高品質の半導体、LCD、CCD、薄膜磁気ヘッドなどのデバイスを所望のスルーブットで露光する露光装置を提供することを別の例示的目的とする。

【0023】上記目的を達成するために、本発明の例示的一態様としての照明装置は、光源から出射した光束を用いて縦横比が1でない被照明面を照明する照明装置であって、前記光源と前記被照明面との間に配置され、前記被照明面を均一に照明するためのライトインテグレートと、前記光源と前記ライトインテグレートとの間に配置され、断面形状の一部に円弧を含み、かつ断面形状の縦横比が前記照明領域の縦横比と近似する第1の光学ロッドとを有する。かかる照明装置は、円弧状の第1の光学ロッドを使用するので光源と照明光学系の光軸がずれてもライトインテグレートの入射面を照明するための有効光源の形状が変化しないので光源と照明装置の光軸がずれても有効光源の光量重心がずれない。また、第1の光学ロッドの断面形状の縦横比をライトインテグレートの縦横比とほぼ等しくするようにすることによって、ライトインテグレートによってケラレる光量を減らして光利用効率を高めることができる。更に、第1の光学ロッドによりライトインテグレートの後段に開口絞りを設けたような輪帯照明を実現することができ解像度の向上に寄与する。

【0024】本発明の例示的一態様としての露光装置は、かかる照明装置と、レチクル又はマスクに形成されたパターンを被処理体に投影する光学系とを有する。かかる露光装置は上述の照明装置を利用するので同様な作用を奏する。

【0025】本発明の例示的一態様としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて被処理体を投影露光する工程と、前記投影露光された被処理体に所定のプロセスを行う工程とを有する。上述の照明装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、か

かるデバイスは、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0026】本発明の他の目的及び更なる特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

#### 【0027】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の例示的な露光装置1及び照明装置100について説明する。なお、各図において同一の参照符号は同一部材を表している。ここで、図1は、本発明の例示的な露光装置1及びその一部である照明装置100の概略構成図である。

【0028】露光装置1は、図1に示すように、照明装置100と、マスク200と、投影光学系300とを有する。露光装置1は、ステップ・アンド・スキャン投影露光方式でマスク200に形成されたパターンをプレートW上に露光する走査型投影露光装置である。

【0029】照明装置100は、転写用パターンが形成されたマスク200を照明する。照明装置100は、図1に示すように、光源としてのレーザー110と、照明光学系とを有する。

【0030】レーザー110は照明光を発光する光源で、例えば波長約248nmのKrFエキシマレーザーである。レーザー110は、波長約193nmのArFエキシマレーザーと置換されても良い。また、光源は、例えば、一般に500W以上の出力の超高压水銀ランプ、キセノンランプなどを使用してもよい。

【0031】レーザーが使用される場合、レーザー光源からの平行光束を所望のビーム形状に整形する光束整形光学系、コヒーレントなレーザー光束をインコヒーレント化するインコヒーレント化光学系を使用してもよい。光束整形光学系は、例えば、複数のシリンドリカルレンズやビームエキスパンダ等を使用することができ、レーザー光の断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換する。インコヒーレント化光学系は、例えば特開平3-215930号公報の図1に開示されているような、入射光束を光分割面で少なくとも2つの光束（例えば、p偏光とs偏光）に分歧した後で一方の光束を光学部材を介して他方の光束に対してレーザー光のコヒーレンス長以上の光路長差を与えてから分割面に再誘導して他方の光束と重ね合わせて射出されるようにした折り返し系を少なくとも一つ備える光学系を用いることができる。

【0032】また、後述する第1の折り曲げレンズ115とレーザー110の間にコリメーターレンズを配置し、光源から発散して広がるように出射するレーザー光線を平行光に変換してもよい。

【0033】照明光学系は、マスク200へ光束を照射する光学系であり、第1の折り曲げミラー115と、プリズム120と、光学ロッド125と、第1のコンデン

サーレンズ130と、第2の折り曲げミラー135と、ハエ目レンズ140と、第2のコンデンサーレンズ145と、絞り150と、結像光学系155a及び155bと、第3の折り曲げミラー160とを有する。

【0034】第1折り曲げミラー115は、レーザー110から出射した光束L1を後述する光学ロッド125の長手方向（本明細書においては、軸方向と称することもある）と平行するように偏向させる。なお、レーザー110の出射光線と光学ロッド125の長手方向が予め平行に配置されているならば、第1の折り曲げミラー115は省略することも可能である。しかし、図1を参照するに、第1の折り曲げミラー115を用いることで、レーザー110の光線を偏向させ、照明装置100及び露光装置1の小型化を実現できる。なお、第1の折り曲げミラー115は、レーザー110からの光束を後方に位置する構成要素に対し最適な入射がなされるような角度で偏向するものとする。

【0035】プリズム120は、第1の折り曲げレンズ115で偏向された光束L1を後述する光学ロッド125の軸方向に対し角度をもって入射させるために用いられる。プリズム120は、ガラスなどで成形された多面体である。プリズム120は、例えば石英又は蛍石から成形されてもよい。本発明の露光装置1に使用されるプリズム120は、三角形の断面を有する三角柱である。なお、プリズム120は、光束の入射面とそれに対する光束の出射面が相対的に傾斜しているであれば、形状に限定を有するものではない。

【0036】図2を参照するに、第1の折り曲げミラー115で偏向された光束L1はプリズム120に対し垂直に入射する。ここで、図2は図1に示す照明装置100に使用されるプリズム120を通過する簡単な光路図である。プリズム120中を通過する光束L2は、プリズム120の入射面に対し角度 $e_2$ だけ傾斜した対向する面から出射する。このとき光束L2は、光束L2に対し角度 $e_1$ だけ屈折した光束L3になる。ここで、光束L2とL3には、 $n \times \sin(e_2) = \sin(e_1 + e_2)$ のような関係があり、 $n$ はプリズム120の絶対屈折率である。すなわち、光束L2に対する光束L3の角度 $e_1$ は、プリズム120の絶対屈折率 $n$ 及び出射する面の傾斜角 $e_2$ に依存する。これにより光束L3は、光学ロッド125の長手方向に対し角度 $e_1$ だけ傾斜し入射することが可能となる。本実施例では、光束L1はプリズム120の入射面に対し垂直に入射されたため、光束L1とL2の間に屈折による角度変化は生じていない。しかし、光束L1とL2の間に屈折が生じるようにプリズム120を配置させてもよい。更に、プリズム120をターレット上に配置し任意に回転可能な構成とすることも考えられる。かかる構成により、光学ロッド125に入射する光束L3の光学ロッド125の軸方向に対する角度を任意に変えることができる。なお、光学ロ

ッド125に対する入射角 $e_1$ は、後述するように要求される光学ロッド125の出射角に応じて調整されることが好ましい。

【0037】また、図3を参照するに、プリズム120はプリズム121に置換することも可能である。ここで、図3は図1に示す照明装置100に使用されるプリズム120の別の例示的形態を示した図である。プリズム121は、断面が長方形の四角柱を斜めに分割することでクサビ型にして、上部のプリズム121aを180度回転させたものである。プリズム121において、プリズム121aはプリズム121bより光線の進行方向に対し下位に位置するように配置される。また、プリズム121bの光束の入射面は入射する光束に対し垂直に配置されることが好ましいが、本発明はこれに限定されない。かかるプリズム121は、プリズム121bに対するプリズム121aの(a)に示した状態から(b)に示した状態の間の任意の位置に配置をずらすことによって光学ロッド125に入射する光束の入射角を任意に変えることができる。

【0038】また、上述した第1の折り曲げミラー115を調節し、光学ロッド125の長手方向に対し角度をもって入射させる構成であってもよい。かかる構成においては、プリズム120を配置する必要はない。折り曲げミラー115を利用し光学ロッド125に入射させるか、折り曲げミラー115を調節し光学ロッド125の長手方向に対し角度を持った光束を入射させるかは、選択的である。

【0039】光学ロッド125は、出射面で光軸に軸対称な均一な角度分布を有する光束を得るために用いられる。まず、光学ロッドの一例としての円柱ロッド500の一般的な性質を、図13を参照して、説明する。ここで、図13は、円柱ロッド500に平行光Lを入れたときの単純化した光路図である。このような円柱ロッド500は、特許公報第2767235号公報において既に開示されている。円柱ロッド500は、平行光Lをスキュー反射によってその射出面において光線の角度分布を光軸に対し軸対称に均一化させる性質を有する。

【0040】図13を参照するに、円柱ロッド500の軸を $z$ 軸、それに垂直する方向に $x$ 軸と $y$ 軸とした軸座標系 $(x, y, z)$ に対し極座標系を $(r, \theta, \phi)$ とする。このとき、ロッドの入射端502に入射した光線 $L$  ( $\theta = e, \phi = 0$ )は、 $\phi$ 方向成分のみ変化する。この $\phi$ の変化は、円柱ロッド500の側面にどのように当たるかで異なる。また、入射する光線に太さがあれば場所場所で異なった変化をするので、円柱ロッドの $z$ 軸方向に充分長ければ、 $\phi$ は様々な値を持つ。光束Lは、出射端504において $z$ 軸と角度 $e$ を持ち、 $z$ 軸に対して軸対称な角度分布を持つ光束 $L'$ となる。図13に示すように、この出射端504から離れたところにスクリーンをおくと、円環状の光分布が観測される。

【0041】 図14を参照するに、この円柱ロッド500の出射面504を2次光源として、ケーラー照明法を用いてハエの目レンズ510の入射面を照明すれば、ハエの目レンズ510の後段に輪帯状の開口絞りを配置したときと同様に、輪帯状の有効光源分布を得ることができる。ここで、図14は、図13に示す円柱ロッド500を使用した光学系の一部を単純化した光路図である。また、ケーラー照明とは、光源における光の角度分布を照明面の位置分布に、光源における光の位置分布を照明面の角度分布に置き換える照明方法である。本出願では、かかる関係をフーリエ変換の関係と呼ぶ場合がある。入射光線Lのロッドに入射する位置が上下したとしても、出射面での角度 $\theta$ は変化しない。従って、照明装置において照明光学系とレーザーの光軸がずれても、有効光源の形状は変化しない。この結果、円柱ロッド500は、被照射面に均一な照明を与えることができると共に、振動に強い照明装置を提供することができる。

【0042】 しかし、照明装置100に円柱ロッド500を使用すると、有効光源の不均一性と光利用効率が両立しないという問題が発生する。上述のように、ケーラー照明とは、光源における光の角度分布を照明面の位置分布に、光源における光の位置分布を照明面の角度分布に置き換える照明方法である。図14を参照するに、ハエの目レンズ510の入射面512における光の角度分布は円柱ロッドの出射面504の形状、即ち、円状の分布となっている。

【0043】 ハエの目レンズ510は、入射光の角度分布を位置分布に変換して出射するライトインテグレータの一種であり、入射面512と出射面514とはフーリエ変換の関係になる。ハエの目レンズは互いの焦点位置がそれと異なるもう一方の面にあるレンズ（レンズ素子）を複数個並べたものである。円柱ロッド500を用いた図14のような光学系の場合、ハエの目レンズ510の入射面512の光の角度分布は円状になっているので、ハエの目レンズの各レンズ素子の出射面514での光の位置分布は円状になっていることになる。また、ハエの目レンズを構成する各レンズ素子の断面形状は、各レンズ素子のレンズ面が球面である場合、照明装置の照明領域と略相似である方が照明光の利用効率が高い。これは、ハエの目レンズと照明領域が瞳と像の関係（フーリエ変換の関係）であるからである。

【0044】 露光装置1の場合は、マスク200面としての照明領域が例えば26mm×13mmのような矩形形状であることから、ハエの目レンズは縦横比がほぼ2:1であることが好ましい。上述のように、図14に示す光学系ではハエの目レンズ510の出射面514での光の位置分布は円状である。従って、ハエの目レンズ510の出射面514での光強度分布は図15又は図16のような分布になっている。ここで、図15及び16は、

ハエの目レンズ510の出射面514をマスク側から見た光強度分布の平面図である。図15では、有効光源分布を形成する円柱ロッド500の出射面の像がハエの目レンズ510の各レンズ素子断面に対し小さく、有効光源は面光源と見なせない。図16では、ハエの目レンズ510の入射面512から入射しても出射面514から出射できず、ハエの目レンズ510によってケラレる光が存在する。

【0045】 そこで、本発明者は、図1に示す後述するハエの目レンズ140の出射面が面光源と十分に擬制可能な有効光源となるようにし、かつ、ハエの目レンズ140によってケラレる光量を減らして光利用効率を高めるように、光学ロッド125の形状を設計している。

【0046】 光学ロッド125は透明な柱状の部材により形成される光学素子である。一般的には光学ロッドとして、ステップインデックス型光ファイバーが使用されることもある。図4を参照するに、光学ロッド125は断面形状が半円であり、かつ断面形状の縦横比がハエの目レンズ140を構成する各レンズ素子の縦横比、ひいては照明領域の縦横比とほぼ等しく形成される。ここで、図4は、光学ロッド125の例示的な断面図である。しかし、光学ロッド125はその断面形状の一部が円弧であり、かつ断面形状の縦横比が照明領域の縦横比とほぼ等しければよい。光学ロッド125は円弧を備えた断面形状により図13に示す円柱ロッド500と同様に輪帯照明を実現することができる。また、光学ロッド125は、所定の縦横比により好ましい光利用効率を得ることができる。図5及び6を参照するに、光学ロッドは、例えば断面形状が円の両側を切断した形状（125a）、もしくは中心をずらした円の共通部分からなる形状（125b）であってもよい。ここで、図5及び6は、別の例示的な光学ロッド125a及び125bの軸方向に関する断面図である。

【0047】 図9を参照するに、光学ロッド125に入射する光束L3は、入射面126端部で屈折されロッド軸に対する角度 $\theta_3$ である光束L4となる。ここで、図9は、図1に示す照明装置100に使用される光学ロッド125を通過する光束の簡単な光路図である。光束L4は、その内部で数回反射しながら出射端面に向かって伝播する。このとき、軸方向に関しては、光学ロッド125はロッドは平面でありパワーはない。従って、光束L4は光学ロッドの軸に対する角度 $\theta_3$ を保ったまま反射する。また、出射面127端部では、光束L4は入射面126端部とは逆の屈折がされる。即ち、出射面127から出射した光束L5のロッド軸に対する角度は $\theta_1$ のままである。一方、光学ロッド125の曲率を有する部分において、軸方向と垂直な方向には光学ロッド125はパワーがある。従って、光学ロッド125に入射した光束L4の光学ロッド125軸に垂直な方向の角度は保存されない。即ち、光束L4はスパイラル方向にミキ



シングされる。これにより、光学ロッド 125 は、出射面 127 で光軸に軸対称な均一な輪帯状の角度分布を有する光束を得ることが可能となる。また、光学ロッド 125 は、断面形状を照明領域とほぼ同じ縦横比としているので、ハエの目レンズ 140 によってケラレることがない。

【0048】光束 L4 は光学ロッド 125 の内面において全反射されることが好ましい。これは、光束 L4 が光学ロッド 125 内でロッド側面と鋭角に反射するように光束 L3 を入射させることで可能となる。また、光学ロッド 125 の側面に反射膜を形成することで、効果的に全反射させることも可能である。

【0049】上述したように、本発明の照明装置 100 に使用される光学ロッド 125 は、断面形状の一部を円弧とすることで、スキュー反射によって角度分布を光軸中心に軸対称に均一化することができる。また、光学ロッド 125 は、断面形状の縦横比をハエの目レンズ 140 を構成する各レンズ素子の断面の縦横比、ひいては照明領域の縦横比とほぼ等しくするような断面形状にすることで、後述するハエの目レンズ 140 において有効光源分布を面形状とみなせ、かつ光束がケラレないようにすることができる。

【0050】また、光学ロッド 125 において、光束 L3 の入射面 126 側の端部はロッド軸に対し垂直に形成されている。しかし、入射側の端部を斜めに傾けて形成された構成の図 7 にしめすような光学ロッド 125c も考えられる。図 7 を参照するに、かかる構成において、ロッド軸と平行な光束 L10 を光学ロッド 125c に入射させた場合、当該光束 L10 は斜めに傾けて形成された端部で屈折させられる (L11)。ここで、図 7 は図 1 に示す照明装置 100 に使用される別の例示的一形態の光学ロッド 125c の側部側からの簡単な光路図を示した図である。よって、光学ロッドに入射した光束 L11 はロッド軸方向に対し角度を有する。上述の構成はプリズムを使用することなしに、上述のプリズム 120 を併用する光学ロッド 125 と同様の効果を得ることができる。

【0051】再び図 1 を参照するに、第 1 のコンデンサーレンズ 130 は光学ロッド 125 の出射面とハエの目レンズ 140 の入射面とがフーリエ変換の関係になるように配置されている。折り曲げミラー 135 は光束を偏向する。

【0052】ハエの目レンズ 140 は、入射光の角度分布を位置分布に変換して出射するライトインテグレータの一種で、入射面と出射面とは光学的にフーリエ変換な関係になる。但し、後述するように、本発明が使用可能な (光学的) インテグレータはハエの目レンズに限定されるものではない。ハエの目レンズ 140 は、本実施例では断面が長方形のレンズ素子 (即ち、微小レンズ) 137 を多数組み合わせる構成されているが、本発明は、

断面円形、四角形、六角形その他の断面形状を有するレンズ素子を排除するものではない。

【0053】ハエの目レンズ 140 は、図 8 に示すように、断面長方形のレンズ素子 137 を縦 6 段、横 3 列の合計 18 個有している。ここで、図 8 は、図 1 に示す照明装置 100 に使用されるハエの目レンズ 140 の出射面から有効光源を見た平面図である。図 8 に示すハエの目レンズ 140 の各レンズ素子 137 の半円は光学ロッド 125 の出射面の像である。このように光学ロッド 125 の断面形状の縦横比を被照明領域の形状に対応させたハエの目レンズ 140 を構成する各レンズ素子の縦横比に近似させることで、多数の光学ロッド 125 の出射面の像が光のケラレなく面光源に近い有効光源とみなせマスク 200 を効率的に均一に照明することができる。

【0054】第 2 のコンデンサーレンズ 145 はハエの目レンズ 140 から出た光束 L7 をできるだけ多く集めて絞り 150 上で重畳的に重ね合わせ絞り 150 をケラー照明する (L8)。即ち、絞り 150 とハエの目レンズ 140 の出射面とはフーリエ変換の関係に配置されている。

【0055】図 1 に示す光学系の一部は図 10 に示す光学系に置換されてもよい。ここで、図 10 は図 1 に示す露光装置 1 及びその一部である別な例示の一態様の照明装置 100a の概略構成図である。図 10 は、図 1 の露光装置 1 の一部である照明装置 100 の第 1 のコンデンサーレンズ 130 と、第 2 の折り曲げミラー 135 と、ハエの目レンズ 140 と、第 2 のコンデンサーレンズ 145 が、第 1 のコリメーターレンズ 170 と、第 2 の折り曲げミラー 175 と、第 2 のコリメーターレンズ 180 と、第 2 の光学ロッド 185 とによって置換されている。

【0056】第 1 のコリメーターレンズ 170 は、光束 L5 を略平行光束 L10 に変換する。光束 L10 は第 2 の折り曲げミラー 175 によって偏向され、第 2 のコリメーターレンズに入射する。第 2 のコリメーターレンズ 180 は平行光束 L10 を第 2 の光学ロッド 185 の入射面端部に集光する集光光束 L11 に変換している。かかる構成により、光学ロッド 125 (以下、図 10 の実施形態では便宜上第 1 の光学ロッドと呼ぶ。) の出射面と第 2 の光学ロッド 185 の入射面を光学的に物体面と像面の位置関係にある。かかる関係を本出願では共役の関係とよぶ場合がある。なお、第 1 の光学ロッド 125 と後述する第 2 の光学ロッド 185 が直列に配置される場合は、第 1 のコリメーターレンズ 170、第 2 の折り曲げミラー 175、及び第 2 のコリメーターレンズ 180 は省略されてもよい。

【0057】本実施例では、第 1 及び第 2 のコリメーターレンズ 170 及び 180 よりなる結像系は、第 1 の光学ロッド 125 の出射面が第 1 のコリメーターレンズ 170 の焦点位置に、第 2 の光学ロッド 185 の入射面が

第2のコリメーターレンズ180の焦点位置にそれぞれ配置されるように構成されている。このように構成することによって、第1のコリメーターレンズ170を通過した光束L10はほぼ平行光束となりその後の第2の折り曲げミラー175を配置する際にその位置が変わってもミラーが必要する有効径があまり変わらないためミラー配置の設計自由度が大きくなる。

【0058】第2の光学ロッド185は、入射面で不均一であった照度分布を出射面で均一にする。第2の光学ロッド185は、ロッド軸と垂直な断面形状が照明領域とほぼ同一な縦横比を有する矩形である。なお、第2の光学ロッド185はロッド軸と垂直な断面形状にパワーがあると出射面での照度が均一にならない。従って、第2の光学ロッド185のロッド軸に垂直な断面形状は直線のみで形成される多角形である。また、このような構成を除き上述した光学ロッド125と同一であるため詳細な説明は省略する。

【0059】絞り150は、マスク200上の照明領域を制限する為に用いられる。絞り150は、投影光学系300がレンズタイプの投影系の場合はほぼ矩形の透光部を有する。投影光学系300がオフナータイプの反射ミラー投影系の場合、第2のコンデンサーレンズ145により均一照明される領域に円弧状の透光部と遮光部とを有する。絞り150の透光部を透過した光束をマスク200の照明光として使用される。結像光学系160は、絞り150の開口像を再度マスク200上に再結像する。

【0060】結像光学系は、図示するように複数の光学系155a及び155bと第3の折り曲げミラー160を有する。しかし、マスク200と絞り150が平行に配置されているのであれば、折り返しミラー160は省略可能であり光学系155a及び155bはどちらか一つにしてもよい。

【0061】マスク200上にはパターンが形成されており、マスク200から発せられた回折光は投影光学系300を通りプレートW上にパターン像を形成する。プレートWはウェハや液晶基板などの被処理体でありレジストが塗布されているものである。絞り150とマスク200とは、共役な関係に配置される。ハエの目レンズ140の出射面とマスク200とはフーリエ変換の関係にある。また、マスク200とプレートWとは共役の関係にある。

【0062】走査型投影露光装置の場合は、マスク200とプレートWを走査することによりマスク200のパターンをプレートW上に転写する。なお、ステッパー（ステップ・アンド・リピート露光方式の露光装置）の場合はマスク200とプレートWの相対位置を固定（静止）させた状態で露光が行われる。

【0063】投影光学系300は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚

の凹面鏡とを有する光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系を使用することができる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値（アッベ値）の異なるガラス材からなる複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子を使用したりする。

【0064】プレートWにはフォトリジストが塗布されている。フォトリジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトリジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトリジストと下地との密着性を高めるための表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyl-disilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークはベーキング（焼成）工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。マスク200とプレートWは所定の速度で同期して互いに逆方向に移動する。

【0065】露光において、レーザー110から発せられた光束は第1の折り曲げミラー115で偏向される。その後、光束はスリット120で角度を変化させ、光学ロッド125に対し斜めに入射する。光束は光学ロッド125でスキュー反射を繰り返すことにより、出射面で光軸に軸対称な均一な角度分布を得る。かかる光束は第1のコンデンサーレンズ130で略平行化され、折り曲げミラー135で偏向され、ハエの目レンズ140の入射面で合成される。このとき、光学ロッド125からの出射光は、第2の光学ロッド185で合成されてもよい。

【0066】ハエの目レンズ140などを出射した光束は、第2のコンデンサーレンズ145を通過した後、絞り150を照明する。絞り150を通過した光束は結像光学系160を通った後マスク200の照射面を照明する。第2のコンデンサーレンズ145は、インテグレートから出射した光を用いて絞り150及びマスク200をケラー照明により均一に照明する。

【0067】かかる照明装置100を使用する露光装置1は均一な有効光源で照明を行えるため、レジストへのパターン転写を高精度に行って高品位なデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0068】次に、図11及び図12を参照して、上述の露光装置1を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図11は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）ではデバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）ではシリコンなどの材料を用い

てウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0069】図12は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）ではウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置1によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法によれば従来は製造が難しかった高品位のデバイスを製造することができる。

【0070】以上、本発明の好ましい実施例を説明したが、本発明はこれらに限定されずその要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【0071】

【発明の効果】本発明の照明装置及び露光装置によれば、円弧を含んだ断面形状の光学ロッドを使用するので光源と照明光学系の光軸がずれてもライトインテグレータの入射面を照明するための有効光源の形状が変化せず光源と照明装置の光軸がずれても有効光源の光量重心がずれない。この結果、照明装置は、光源と照明装置の光軸がずれても被照射面に均一な照明を与えることができる。よって、本発明は、振動に強い照明装置を提供することができる。

【0072】また、光学ロッドの断面形状の縦横比を被照明面の縦横比、ひいてはライトインテグレータの断面形状の縦横比とほぼ等しくするようにすることによって、ライトインテグレータによってケラれる光量を減らして光利用効率を高めることができる。この結果、露光装置は所望のスループットを維持することができる。

【0073】更に、光学ロッドによりライトインテグレータの後段に開口絞りを設けたような輪帯照明を実現することができる。この結果、露光装置は、数式1にお

る比例定数 $k_1$ をあげて高い解像度を実現することができる。

【0074】また、本発明は回折光学素子等を使用しないので比較的安価な照明装置及び露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の例示的な露光装置及びその一部である照明装置の概略構成図である。

【図2】 図1に示す照明装置に使用されるプリズムを通過する簡単な光路図である。

【図3】 図1に示す照明装置に使用されるプリズムの別の例示的な形態を示す断面図である。

【図4】 図1に示す照明装置に使用される光学ロッドの例示的な断面図である。

【図5】 図1に示す照明装置に使用される別の例示的な光学ロッドの垂直断面図である。

【図6】 図1に示す照明装置に使用される別の例示的な光学ロッドの垂直断面図である。

【図7】 図1に示す照明装置に使用される別の例示的な光学ロッドの側部側からの簡単な光路図を示した図である。

【図8】 図1に示す照明装置に使用されるハエの目レンズの出射面から有効光源を見た平面図である。

【図9】 図1に示す照明装置に使用される光学ロッドを通過する光束の簡単な光路図である。

【図10】 図1に示す露光装置及びその一部である別の例示的な態様の照明装置の概略構成図である。

【図11】 デバイスの製造を説明するためのフローチャートである。

【図12】 図11に示すウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図13】 図1に示す照明装置の光学ロッドの性質を説明するための、円柱ロッドに平行光を入れたときの単純化した光路図である。

【図14】 図13に記載の円柱ロッドを使用した光学系の一部を単純化した光路図である。

【図15】 ハエの目レンズの出射面をマスク側から見た光強度分布の平面図である。

【図16】 ハエの目レンズの出射面をマスク側から見た光強度分布の平面図である。

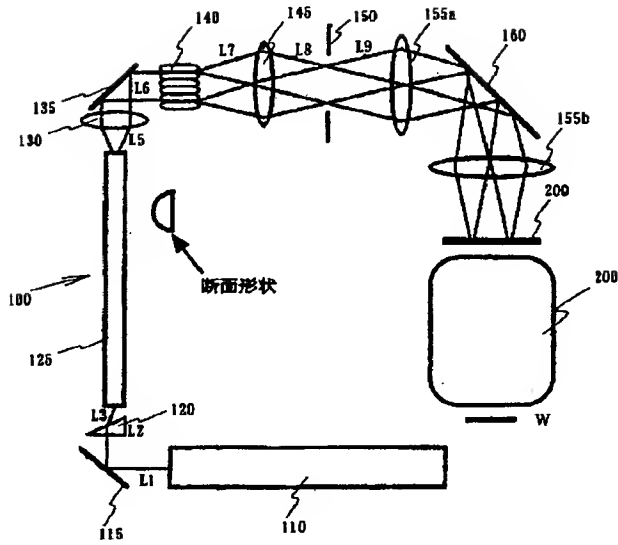
【符号の説明】

1	露光装置
100	照明装置
110	レーザー
125	光学ロッド
140	ハエの目レンズ
150	絞り
160	結像光学系
185	第2の光学ロッド
200	マスク

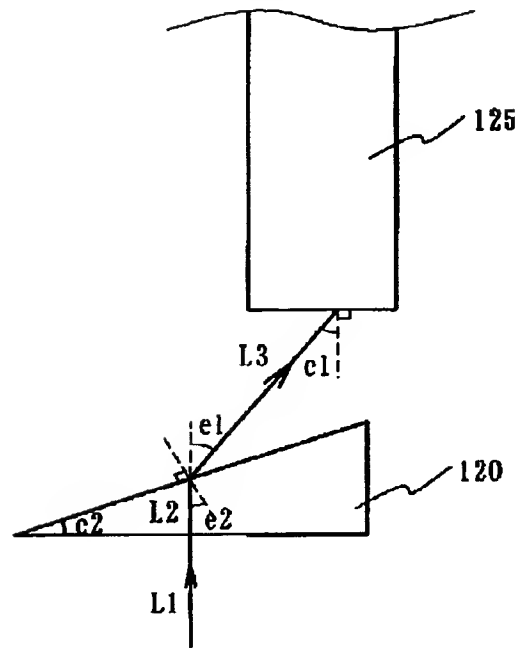
300

17  
投影光学系

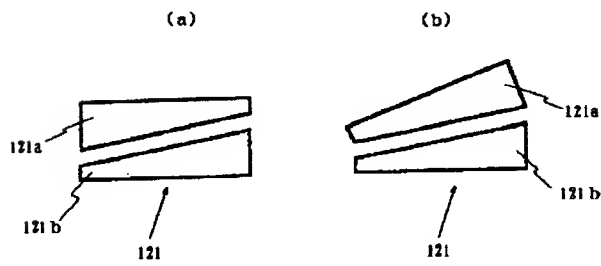
【図 1】



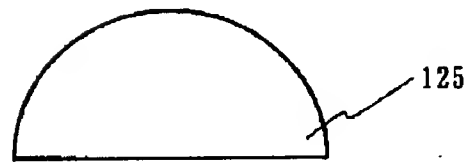
【図 2】



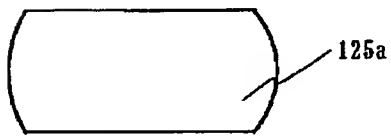
【図 3】



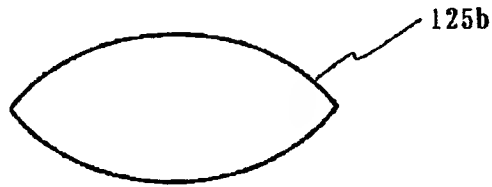
【図 4】



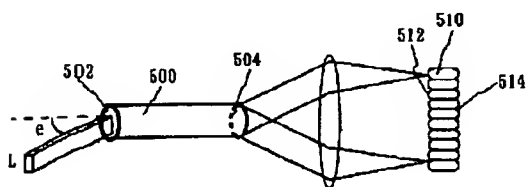
【図 5】



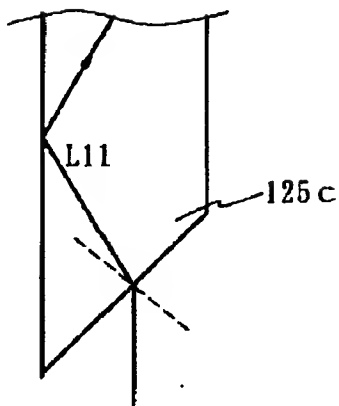
【図 6】



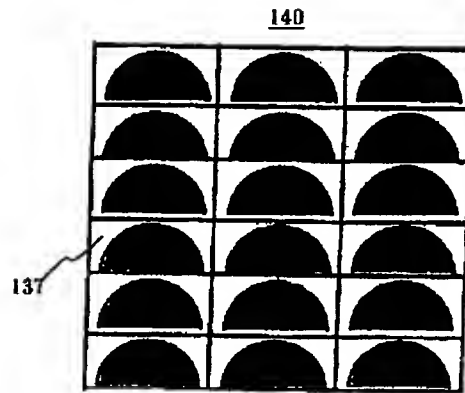
【図 14】



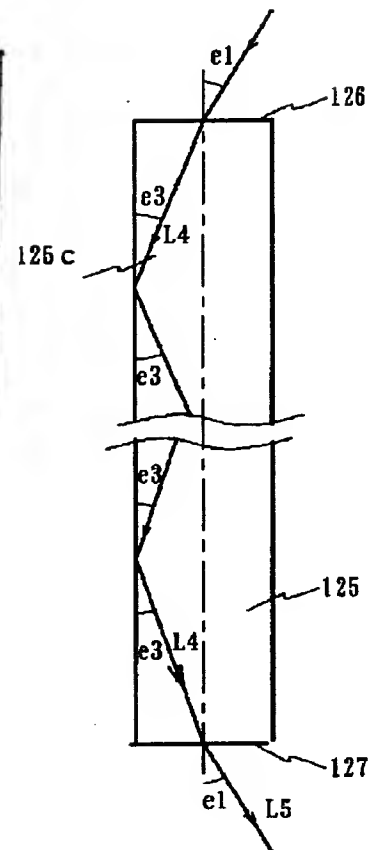
【図 7】



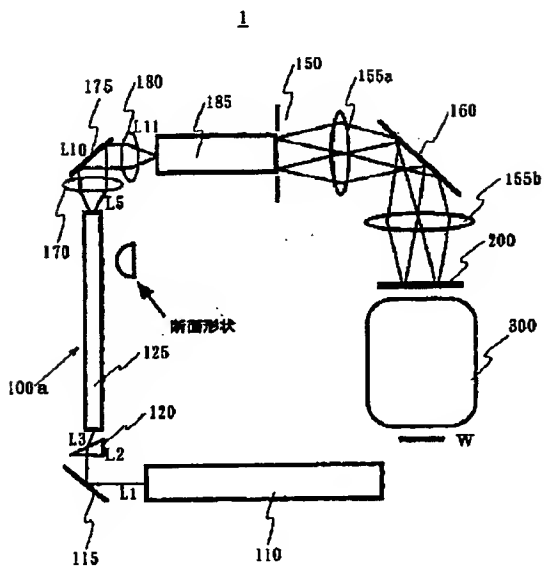
【図8】



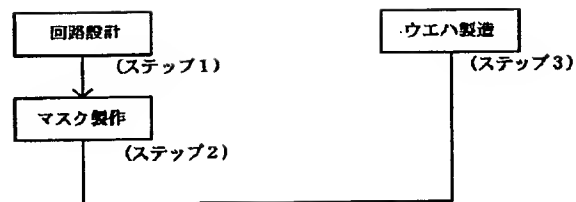
【图9】



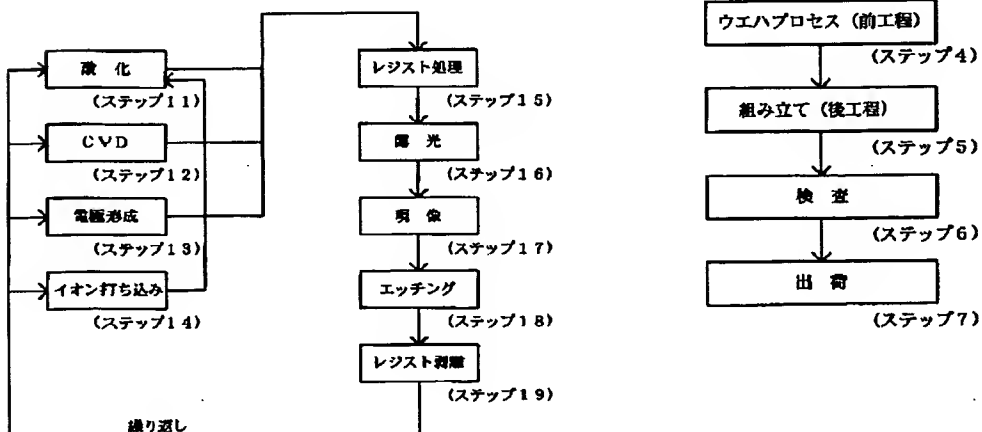
【図 10】



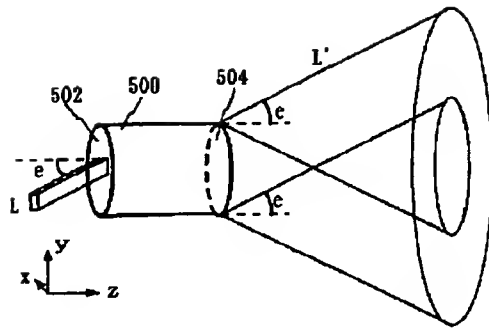
【图 1-1】



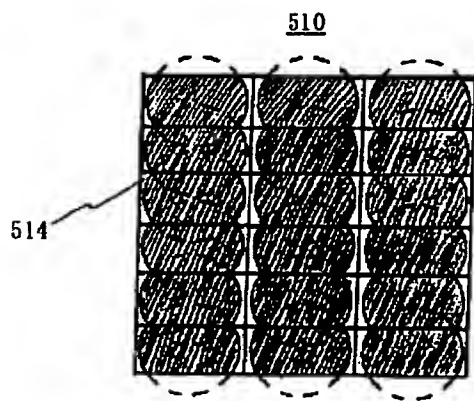
【图 12】



【図 13】



【図 16】



【図 15】

